



**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

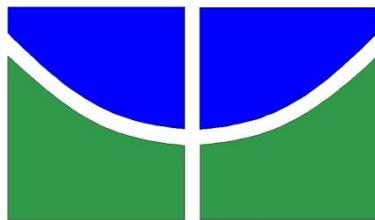
**Crescimento de mudas de *Inga laurina* (SW.) Willd (Ingá-mirim) com adubação de nanofertilizante em cobertura.**

**Luísa Gonçalves Lima**

**Brasília, 2023**

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**

**FACULDADE DE TECNOLOGIA**



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
FACULDADE DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL

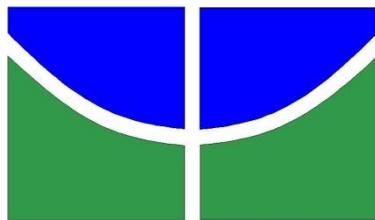
**Crescimento de mudas de *Inga laurina* (SW.) Willd (Ingá-mirim) com adubação de nanofertilizante em cobertura.**

**Luísa Gonçalves Lima**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação apresentado ao Departamento de Engenharia Florestal da Universidade de Brasília como parte das exigências para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Florestal.

Orientador(a): Prof. Dr. Anderson Marcos de Souza

Brasília-DF, dezembro 2023



**Universidade de Brasília - UnB**  
**Faculdade de Tecnologia - FT**  
**Departamento de Engenharia Florestal – EFL**

**Crescimento de mudas de *Inga laurina* (SW.) Willd (Ingá-mirim) com  
adubação de nanofertilizante em cobertura.**

Estudante: Luísa Gonçalves Lima

Matrícula: 17/0085597

Orientador(a): Prof. Dr. Anderson Marcos de Souza

Menção: \_\_\_\_\_

---

Prof. Dr. Anderson Marcos de Souza  
Universidade de Brasília – UnB  
Departamento de Engenharia Florestal  
Orientador (EFL)

---

Prof(a). Dr(a). Rosana de C. C. Martins  
Universidade de Brasília – UnB  
Departamento de Engenharia Florestal  
Membro Interno

---

Prof(a). Dr(a). Juscelina Arcanjo dos Santos  
Universidade de Brasília – UnB  
Departamento de Engenharia Florestal  
Membro Interno

Brasília-DF, dezembro 2023

## FICHA CATALOGRÁFICA

LIMA, Luísa Gonçalves

Crescimento de mudas de *Inga laurina* (SW.) Willd (Ingá-mirim) com adubação de nanofertilizante em cobertura.

41 p., 210 x 297mm (EFL/FT/UnB, Engenheira, Engenharia Florestal, 2023).

Trabalho de conclusão de curso - Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia.

Departamento de Engenharia Florestal

1. Arbolina

2. Viveiro

3. Nativa

4. Arborização

I. EFL/FT/UnB

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

LIMA, L. G. (202x). **Crescimento de mudas de *Inga laurina* (SW.) Willd (Ingá-mirim) com adubação de nanofertilizante em cobertura.** Trabalho de conclusão de curso, Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, Brasília, DF, XX p.

## CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR(A): Luísa Gonçalves Lima

TÍTULO: Crescimento de mudas de *Inga laurina* (SW.) Willd (Ingá-mirim) com adubação de nanofertilizante em cobertura

GRAU: Engenheiro(a) Florestal

ANO: 2023

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias deste Projeto Final de Graduação e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. A autora reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte deste Projeto Final de Graduação pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor.

---

Luísa Gonçalves Lima

luisa.g.lima99@gmail.com

Dedico este trabalho a você, Maria, seu apoio foi a força motriz  
dessa conquista, a voz que sempre acreditou em mim.

## AGRADECIMENTOS

Com grande alegria e profunda gratidão, dedico estas palavras a todos aqueles que compartilharam minha jornada acadêmica, culminando na conclusão do meu trabalho de graduação. Essa conquista não teria sido possível sem o apoio e a inspiração de inúmeras pessoas, e é com sincero agradecimento que expresso meus sentimentos.

Em primeiro lugar, desejo estender meus agradecimentos aos meus respeitados professores e orientadores, cuja sabedoria, paciência e orientação desempenharam um papel fundamental no êxito deste trabalho. Suas contribuições inestimáveis e discernimentos moldaram meu percurso acadêmico, ajudando-me a crescer não apenas como estudante, mas também como ser humano.

À minha família, quero manifestar minha profunda gratidão. Seu amor incondicional, encorajamento constante e apoio incansável serviram como alicerces sólidos que me permitiram enfrentar desafios e superar adversidades ao longo desta jornada. Este trabalho de conclusão celebra, em parte, a dedicação e os sacrifícios que vocês generosamente fizeram por mim.

Aos meus amigos, que estiveram ao meu lado durante as longas noites de estudo, as conversas estimulantes e os momentos de descontração, expresso minha sincera gratidão. Vocês têm sido uma fonte constante de inspiração e alegria.

Aos colegas de classe, que compartilharam comigo as responsabilidades acadêmicas, agradeço pela nossa colaboração e amizade. Juntos, enfrentamos desafios e celebramos conquistas, enriquecendo nossa jornada.

À instituição de ensino e seus dedicados funcionários, quero expressar minha gratidão pela oportunidade de aprender, crescer e explorar meu potencial. Sua busca incansável pela excelência acadêmica se reflete em todos os aspectos do meu percurso.

Por último, mas não menos importante, desejo agradecer a mim mesmo. Pelas noites de estudo sem fim, pelos desafios superados e por nunca desistir do meu sonho de concluir esta etapa da minha educação.

Este trabalho de conclusão é muito mais do que um mero símbolo do meu esforço; é o resultado de uma comunidade que acreditou em mim e me apoiou até este ponto. Minha gratidão é profunda por todo o apoio, amor e paciência que recebi ao longo dessa jornada. Este é um marco significativo, mas é apenas o começo de uma nova fase de aprendizado e crescimento. Agradeço a todos que estiveram ao meu lado nessa jornada. Seu apoio foi essencial, e minha gratidão é eterna.

*“O planeta não é inanimado, é um organismo vivo”.* (James Lovelock)

## RESUMO

Lima, Luísa Gonçalves (LIMA, L. G.) **CRESCIMENTO DE MUDAS DE INGA LAURINA (SW.) WILLD (INGÁ-MIRIM) COM ADUBAÇÃO DE NANOFERTILIZANTE EM COBERTURA.** Monografia (Bacharelado em Engenharia Florestal) – Universidade de Brasília, Brasília, DF.

O projeto urbano de Brasília, de Lucio Costa, incorporou princípios modernistas e a visão de cidades-parques de Le Corbusier, resultando em quatro escalas distintas com ênfase em áreas verdes e harmonia volumétrica. O uso frequente do gênero *Inga* na arborização urbana contribuiu para a preservação ambiental do Cerrado, oferecendo benefícios ecológicos. As leguminosas desempenham um papel crucial na recuperação de áreas degradadas devido à sua capacidade de fixação de nitrogênio atmosférico e enriquecimento do solo. A adubação é fundamental para o desenvolvimento das plantas, e a nanotecnologia é explorada na produção de fertilizantes, como o nanofertilizante Arbolina. O estudo busca avaliar o crescimento de mudas de *Inga laurina* (SW.) Willd em viveiro florestal com nanofertilizante (Arbolina) para identificar a dosagem mais eficaz. Foram conduzidos tratamentos variados com solução de Arbolina em diferentes dosagens (0ml, 1ml, 2ml, 3ml e 4ml). Após o experimento, foram coletadas diversas variáveis morfológicas e de crescimento, incluindo altura da parte aérea, diâmetro do coleto, número de folhas, comprimento e diâmetro da raiz pivotante, número de raízes secundárias, número de nódulos no sistema radicular, massa seca da parte aérea e massa seca do sistema radicular. A análise desses dados, incluindo parâmetros de qualidade, como a massa seca total, relação entre altura da parte aérea e diâmetro do coleto, relação entre altura da parte aérea e massa seca da parte aérea, relação entre massa seca da parte aérea e massa seca do sistema radicular, e o índice de qualidade Dickson, foi realizada por meio de análise de variância, teste Tukey com níveis de 5% de significância, além de ajustar os modelos de regressão no software estatístico SISVAR. O tratamento com 3ml de solução de Arbolina a 10% mostrou as melhores médias em várias variáveis e foi recomendado de acordo com o Índice de Qualidade Dickson. No entanto, a aplicação do nanofertilizante resultou na redução do número de nódulos no sistema radicular, uma característica crucial para a nutrição e desenvolvimento vegetativo, apesar de não apresentar grandes variações em outros parâmetros. Em resumo, todos os tratamentos demonstraram resultados satisfatórios para o crescimento das mudas de *Inga laurina* (SW.) Willd, sugerindo a necessidade de estudos mais aprofundados com uma variedade maior de tratamentos para aprimorar a produção florestal.

**Palavras-chave:** Arbolina; Viveiro; Nativa; Arborização.

## ABSTRACT

Lima, Luísa Gonçalves (LIMA, L. G.) **GROWTH OF INGA LAURINA (SW.) WILLD (INGÁ-MIRIM) SEEDLINGS WITH TOP-DRESSING NANOFERTILIZER.** Monograph (Forest Engineering Degree ) – University of Brasília, Brasília, DF.

The urban project of Brasília by Lucio Costa incorporated modernist principles and Le Corbusier's vision of city-parks, resulting in four distinct scales with an emphasis on green areas and volumetric harmony. The frequent use of the Ingá genus in urban afforestation contributes to the environmental preservation of the Cerrado, providing ecological benefits. Legumes play a crucial role in the recovery of degraded areas due to their ability to fix atmospheric nitrogen and enrich the soil. Fertilization is fundamental for plant development, and nanotechnology is explored in the production of fertilizers, such as the nanofertilizer Arbolina. The study aims to assess the growth of *Inga laurina* (SW.) Willd seedlings in a forest nursery with nanofertilizer (Arbolina) to identify the most effective dosage. Various treatments were conducted with Arbolina solution at different dosages (0ml, 1ml, 2ml, 3ml, and 4ml). After the experiment, various morphological and growth variables were collected, including above-ground height, stem diameter, number of leaves, length and diameter of the pivot root, number of secondary roots, number of nodules in the root system, dry mass of the above-ground part, and dry mass of the root system. The analysis of these data, including quality parameters such as total dry mass, the relationship between above-ground height and stem diameter, the relationship between above-ground height and dry mass of the above-ground part, the relationship between dry mass of the above-ground part and dry mass of the root system, and the Dickson Quality Index, was carried out through analysis of variance, Tukey test at a 5% significance level, and regression model adjustments in the SISVAR statistical software. The treatment with 3ml of 10% Arbolina solution showed the best averages in various variables and was recommended according to the Dickson Quality Index. However, the application of nanofertilizer resulted in a reduction in the number of nodules in the root system, a crucial characteristic for nutrition and vegetative development, despite not showing significant variations in other parameters. In summary, all treatments demonstrated satisfactory results for the growth of *Inga laurina* (SW.) Willd seedlings, suggesting the need for more in-depth studies with a greater variety of treatments to enhance forest production.

**Keywords:** Arbolina; Nursery; Native; Afforestation.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Indivíduo arbóreo de <i>Inga laurina</i> utilizado no experimento. ....	22
<b>Figura 2.</b> Sacos plásticos preenchidos. ....	23
<b>Figura 3.</b> Experimento com tela de sombreamento. ....	23
<b>Figura 4.</b> Disposição dos tratamentos para as mudas de <i>Inga laurina</i> (SW.) Willd.... .....	24
<b>Figura 5.</b> Valores médios da altura de mudas de <i>Inga laurina</i> (SW.) Willd., com nanofertilizante em adubação de cobertura.....	28
<b>Figura 6.</b> Valores médios do diâmetro de coleto de mudas de <i>Inga laurina</i> (SW.) Willd., com nanofertilizante em adubação de cobertura. ....	29
<b>Figura 7.</b> Valores médios do número de folhas de mudas de <i>Inga laurina</i> (SW.) Willd., com nanofertilizante em adubação de cobertura. ....	29
<b>Figura 8.</b> Valores médios do comprimento de raiz de mudas de <i>Inga laurina</i> (SW.) Willd., com nanofertilizante em adubação de cobertura. ....	31
<b>Figura 9.</b> Valores médios do diâmetro de raiz de mudas de <i>Inga laurina</i> (SW.) Willd., com nanofertilizante em adubação de cobertura. ....	31
<b>Figura 10.</b> Valores médios do número de raiz secundária de mudas de <i>Inga laurina</i> (SW.) Willd., com nanofertilizante em adubação de cobertura.....	32
<b>Figura 11.</b> Valores médios do número de nódulos de mudas de <i>Inga laurina</i> (SW.) Willd., com nanofertilizante em adubação de cobertura. ....	32
<b>Figura 12.</b> Valores médios da massa seca da parte aérea de mudas de <i>Inga laurina</i> (SW.) Willd., com nanofertilizante em adubação de cobertura.....	34
<b>Figura 13.</b> Valores médios da massa seca do sistema radicular de mudas de <i>Inga laurina</i> (SW.) Willd., com nanofertilizante em adubação de cobertura. ....	34
<b>Figura 14.</b> Valores médios da massa seca total de mudas de <i>Inga laurina</i> (SW.) Willd., com nanofertilizante em adubação de cobertura. ....	35
<b>Figura 15.</b> Valores médios da relação altura e do diâmetro do coleto de mudas de <i>Inga laurina</i> (SW.) Willd., com nanofertilizante em adubação de cobertura. ....	36
<b>Figura 16.</b> Valores médios relação da altura do coleto e da massa seca da parte aérea de mudas de <i>Inga laurina</i> (SW.) Willd., com nanofertilizante em adubação de cobertura. ....	37
<b>Figura 17.</b> Valores médios da relação da massa seca da parte aérea e a massa seca do sistema radicular de mudas de <i>Inga laurina</i> (SW.) Willd., com nanofertilizante em adubação de cobertura. ....	38

**Figura 18.** Valores médios do Índice de Qualidade Dickson de mudas de *Inga laurina* (SW.) Willd., com nanofertilizante em adubação de cobertura..... 38

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b> Composição dos tratamentos utilizados com solução líquida de arbolina. 24	
<b>Tabela 2.</b> Análise de variância para as variáveis de altura da parte aérea, diâmetro do coleto e número de folhas.....	27
<b>Tabela 3.</b> Tabela de análise de variância para as variáveis de comprimento da raiz, diâmetro da raiz pivotante, número de raiz secundária e número de nódulos no sistema radicular. .....	30
<b>Tabela 4.</b> Tabela de análise de variância para as variáveis de massa seca da parte aérea, massa seca do sistema radicular e massa seca total. ....	33
<b>Tabela 5.</b> Tabela de análise de variância para os parâmetros de qualidade. ....	35

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>15</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS .....</b>	<b>17</b>
<b>2.1</b>	<b>Objetivo geral .....</b>	<b>17</b>
<b>2.2</b>	<b>Objetivos específicos.....</b>	<b>17</b>
<b>3</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>17</b>
<b>3.1</b>	<b>Arborização urbana de Brasília .....</b>	<b>17</b>
<b>3.2</b>	<b>Áreas degradadas .....</b>	<b>18</b>
<b>3.3</b>	<b>Espécie de estudo .....</b>	<b>19</b>
<b>3.4</b>	<b>Práticas de adubação e nanofertilizantes .....</b>	<b>20</b>
<b>4</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>21</b>
<b>4.1</b>	<b>Local de implantação do experimento.....</b>	<b>21</b>
<b>4.2</b>	<b>Obtenção e preparo das sementes.....</b>	<b>21</b>
<b>4.3</b>	<b>Obtenção do biofertilizante (Arbolina) .....</b>	<b>23</b>
<b>4.4</b>	<b>Implantação do experimento.....</b>	<b>23</b>
<b>4.5</b>	<b>Delineamento Experimental .....</b>	<b>24</b>
<b>4.6</b>	<b>Obtenção dos dados.....</b>	<b>24</b>
4.6.1	Altura da parte aérea (H) .....	25
4.6.2	Diâmetro do coleto (DC) .....	25
4.6.3	Número de Folhas (NF) .....	25
4.6.4	Comprimento da raiz pivotante (R) .....	25
4.6.5	Diâmetro da raiz pivotante (DR) .....	25
4.6.6	Número de raízes secundárias (RS).....	25
4.6.7	Número de nódulos na raiz (NN).....	25
4.6.8	Massa seca da parte aérea (Ma) e massa seca do sistema radicular (Mr).....	25
<b>4.7</b>	<b>Parâmetros e procedimentos estatísticos.....</b>	<b>26</b>

4.7.1	Massa seca total (MST) .....	26
4.7.2	Relação do altura da parte aérea com o diâmetro do coleto (RHDC) .....	26
4.7.3	Relação do comprimento da parte aérea com a massa seca da parte aérea (RHMa)....	26
4.7.4	Relação da massa seca da parte aérea com a massa seca do sistema radicular (RMaMr) .....	26
4.7.5	Índice de Qualidade Dickson (IQD) .....	26
<b>4.8</b>	<b>Análise de dados .....</b>	<b>27</b>
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>27</b>
<b>5.1</b>	<b>Parte Aérea .....</b>	<b>27</b>
<b>5.2</b>	<b>Sistema Radicular.....</b>	<b>29</b>
<b>5.3</b>	<b>Massa Seca .....</b>	<b>33</b>
<b>5.4</b>	<b>Parâmetros de Qualidade .....</b>	<b>35</b>
<b>6</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>38</b>
<b>7</b>	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>39</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Lúcio Costa desenvolveu Brasília com o intuito de incorporar princípios modernistas e a visão de cidades-parques de Le Corbusier. A cidade é dividida em quatro escalas - monumental, gregária, residencial e bucólica - que promovem uma ampla visão urbana, enfatizando espaços abertos e harmonia volumétrica. A inclusão de vegetação, especialmente na escala bucólica, é crucial para estabelecer a cidade como um parque (Jucá, 2009).

A presença de árvores na área urbana oferece benefícios como melhoria da qualidade do ar, equilíbrio térmico, estímulo à fauna e redução de pragas urbanas, contribuindo para uma maior qualidade de vida (Vale et al., 2005). Durante o desenvolvimento da capital, a preferência por espécies de outros biomas e exóticas predominou, resultando na perda de muitos indivíduos devido à falta de adaptação (Costa, 2010). A solução foi a adoção de espécies nativas do Cerrado.

A Família Fabaceae foi proeminente na década de 60, representando cerca de 32,7% dos inventariados no plano piloto, conforme o estudo de Lima (2010). Na década de 80, a arborização diversificou, com destaque para o gênero *Inga*, com quatro espécies identificadas. O *Inga* tem sido uma presença constante na arborização urbana de Brasília desde a década de 60, com ênfase no *Inga laurina* nos anos 90 (Lima, 2010).

*Inga laurina* é uma espécie nativa brasileira, não endêmica e encontrada em diferentes domínios fitogeográficos, como a Amazônia, a Caatinga, o Cerrado e a Mata Atlântica (Garcia, 2020). Em Brasília, está presente na arborização urbana de Brasília, sendo utilizada em função de seu valor ornamental e florestal, possibilitando sombreamento e atração à fauna, devido a copa frondosa e a presença de frutos comestíveis, respectivamente (Lorenzi, 1998). Associado a isso, sua adaptação ao ambiente urbano e a permanência das folhas no período da seca fazem dessa espécie uma excelente opção (Brito, 2014).

As leguminosas também são alternativas viáveis para a recuperação de áreas degradadas em decorrência da relação ecológica de mutualismo com bactérias fixadoras de nitrogênio atmosférico, como as do gênero *Rhizobium*, e por consequência, enriquecem o solo com esse nutriente que favorece o crescimento vegetativo. Esta atividade é viável em decorrência da presença de nódulos presentes nas raízes dessas espécies (Silva, 2010).

A inclusão de *Inga laurina* em projetos de recuperação de áreas degradadas é uma alternativa promissora em decorrência da alta taxa de sobrevivência em ambientes adversos o que acelera o processo de sucessão ecológica. Além do rápido crescimento vegetativo, promove o enriquecimento, a descompactação e a proteção do solo descoberto proporcionando o

reestabelecimento da vegetação nativa e gera incentivo para o surgimento da fauna (Marcuzzo et al, 2015; Santana, 2023).

No âmbito da produção de mudas em viveiros, destaca-se a significativa importância do substrato, que desempenha o papel crucial de proporcionar sustentação à muda e fornecer condições e nutrientes ideais para seu desenvolvimento. Geralmente isento de plantas invasoras, pragas e fungos, o substrato é selecionado entre diferentes tipos e formulações para atender às exigências específicas de cada espécie. A adubação periódica, emerge como elemento indispensável para potencializar a produtividade do viveiro e garantir a qualidade das mudas (Wendling et al, 2006).

A manutenção e reposição de nutrientes no substrato, vital para o cultivo de diversas espécies, incluindo as florestais, o que ressalta a importância contínua do desenvolvimento das técnicas de adubação (Coelho, 2007). A evolução histórica revela uma transição nos insumos utilizados, inicialmente baseados em resíduos orgânicos, para metodologias mais complexas, como fertilizantes químicos e minerais, uma resposta à crescente demanda por espécies vegetais e a necessidade de controle do processo produtivo (Batista, 2018). Com o advento da biotecnologia, inovações como o melhoramento genético, utilizando organismos vivos ou partes deles, tornaram-se essenciais para alcançar ganhos significativos em produtividade e sustentabilidade (Golle et al, 2009; Matos, 2011). Essas transformações tecnológicas reforçam a dinâmica contínua nos sistemas de produção em viveiros e na agricultura brasileira.

Atualmente, a nanotecnologia também auxilia nos estudos a respeito da produção florestal e agrícola, sendo utilizada para a produção de nanofertilizantes que melhoram a eficiência na liberação e disponibilidade de nutrientes, menor lixiviação e, conseqüentemente, melhor desenvolvimento vegetativo. Em contraponto, a aplicação inadequada pode apresentar efeitos negativos na produção florestal e ocasionar crescimento indesejado (Neto et al, 2020).

Dentre as nanopartículas utilizadas para o desenvolvimento de fertilizantes, as partículas de carbono sobressaem devido à sua biocompatibilidade, baixa toxicidade e alta solubilidade. Essas características específicas promovem uma maior resistência das plantas a estresses bióticos e abióticos, bem como ampliam a capacidade de absorção de nutrientes. Esses atributos combinados sugerem um potencial significativo para impulsionar o crescimento e a produtividade das culturas em viveiros (Butruille, 2021).

Nesse sentido, visando a maior compreensão a respeito de nanofertilizantes em espécies nativas brasileiras esse estudo utilizou o biofertilizante a base de nanopartícula de carbono,

Arbolina, desenvolvida pela KrillTech, que tem como objetivo aumentar a eficiência da cadeia de produção de mudas.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo geral**

Avaliar o crescimento de mudas de *Inga laurina* (SW.) Willd em viveiro florestal com a implementação de adubação de nanofertilizante (Arbolina) em cobertura identificando a melhor dosagem a ser utilizada.

### **2.2 Objetivos específicos**

- Apontar a diferença de crescimento para os diferentes tratamentos implementados;
- Indicar os índices de qualidade das mudas de *Inga laurina* (SW.) Willd a partir da utilização do nanofertilizante;
- Identificar o tratamento que proporciona melhor desenvolvimento das mudas com o melhor padrão de qualidade;

## **3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **3.1 Arborização urbana de Brasília**

O crescimento populacional ocasiona diferentes problemas em relação ao meio ambiente e aos recursos naturais. O desequilíbrio entre o desenvolvimento humano e a conservação da natureza resulta na degradação do solo, do ar, na mitigação dos recursos renováveis e não renováveis (Rogers et al, 2001). Ao entender que atualmente cerca de 54% da população está concentrada em ambientes urbanos, conforme o estudo de Bichueti et al (2019), entende-se também a necessidade do desenvolvimento de cidades sustentáveis, que proporcionam qualidade de vida para seus cidadãos e as gerações futuras, visando o equilíbrio entre o meio ambiente e o ser humano.

Nesse sentido, a arborização urbana é um elemento fundamental para o planejamento urbano, sendo de importante para o aumento da qualidade de vida, a promoção da biodiversidade, a regulação térmica, redução da poluição do ar e redução de ruídos. Além disso, apresenta efeitos positivos na saúde física e mental, proporcionando ambientes de recreação e interações sociais (Kothencz et al, 2017).

No cenário brasileiro, Brasília se destaca como um exemplo de como a arborização pode ser integrada ao ambiente urbano. Lúcio Costa, como vencedor do concurso para a Construção

da nova Capital do Brasil, adotou o conceito de cidade-parque para o plano urbanístico da cidade, trazendo grande valorização para áreas verdes e a arborização dentro da cidade (Costa, 1987).

Entretanto, a arborização de Brasília se iniciou com a introdução de espécies exóticas ao cerrado, espécies que não estavam adaptadas ao ambiente o que ocasionou na perda de inúmeros indivíduos. Assim, associado ao paisagismo ecologicamente correto, ocorreu maior valorização do meio ambiente e preocupação com a implementação de espécies nativas, assim, 70% das espécies florestais em Brasília são nativas de acordo com o estudo de Rocha (2012).

Além disso, em áreas no Plano Piloto em que existe o prevaletimento de cobertura vegetal do Cerrado nativo é estipulado a preservação desses ambientes, enquanto as demais serão arborizadas em forma de bosques segunda a escala bucólica proposta por Lúcio Costa. Dessa forma, a concepção urbanística da cidade é mantida (Federal, 1987).

### **3.2 Áreas degradadas**

Segundo Klink e Machado (2005), o Cerrado é o segundo maior bioma brasileiro, no entanto, as taxas de desmatamento e destruição de seu ecossistema é elevada, cerca de 55% já foi desmatado ou alterado por meio de ação antrópica. Em decorrência disso, a fragmentação de habitats, degradação do solo, extinção da biodiversidade, entre outros, são danos ambientais que ameaçam a integridade de inúmeras espécies, inclusive do ser humano. Assim, a recuperação dessas áreas é fundamental para a retomada do equilíbrio entre o desenvolvimento e o meio ambiente.

O termo recuperação é entendido pelo Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza – SNUC como a “restituição de um ecossistema ou de uma população silvestre degradada a uma condição não degradada, que pode ser diferente de sua condição original”. Nesse sentido, diferentes soluções foram desenvolvidas visando a recondução de áreas degradadas, como a restauração, que é a reposição exata das condições ecológicas da área, a reabilitação, sendo o retorno da função produtiva da terra, não do ecossistema, e a recuperação, ou seja, a estabilização da área se o estreito compromisso ecológico (Corrêa, 2009).

A revegetação é uma das maneiras utilizadas para a recondução de uma área. Assim, a utilização de espécies arbóreas nativas, que apresentam adaptações às condições específicas do bioma, como a sazonalidade das chuvas e a fertilidade do solo, é um fator essencial para o sucesso da atividade. Além disso, essas espécies também exercem a função de atração para a

fauna nativa por meio da disponibilidade de habitat e alimento, contribuindo para a dispersão de sementes e restauração de cadeias alimentares (Moraes, 2013).

Nesse contexto, espécies de leguminosas arbóreas podem ser uma alternativa para a recuperação dessas regiões afetadas. Isso se deve a presença de nódulos em suas raízes e a associação com fungos micorrizos que as tornam autossuficientes em nitrogênio, com maior capacidade de reter água, maior absorção de nutrientes e maior tolerância ao estresse do solo (Brito, 2014).

### 3.3 Espécie de estudo

*Inga laurina* (Sw.) Willd, conhecido popularmente como ingá-branco ou ingá-mirim, é nativa, não endêmica no Brasil e possui ampla distribuição, ocorrendo em diferentes estados e biomas (Lorenzi, 1998). Pertence à família Leguminosae, sendo a terceira maior família de fanerógamas em quantidade de gêneros, além de ser a segunda família mais importante em produtos alimentares. Ainda são importantes ecologicamente devido ao papel importante que desempenham nos ciclos biogeoquímicos por meio da simbiose realizada com bactérias fixadoras de nitrogênio (Silva, 2010).

A espécie é classificada como heliófita e pioneira, ou seja, necessita de total exposição solar e é adaptável a ambientes menos favoráveis a outras espécies, apresentando poucas exigências para o seu desenvolvimento. Além disso, suas raízes com a presença de nódulos, contribuem para a reciclagem de nutrientes no solo (Brito, 2014).

Entre algumas características, a espécie apresenta altura de 10-20 metros, sua copa é ampla e baixa, promovendo o fornecimento de sombras. O fruto é legume chato ou convexo, reto ou levemente curvo, sua floração ocorre entre os meses de agosto a dezembro e frutifica de novembro a fevereiro. Para sua colheita é necessário que a queda espontânea seja iniciada, realizando a coleta no chão ou não. Produz anualmente uma grande quantidade de sementes viáveis; no entanto, não permitem desidratação, sendo necessário iniciar o processo de germinação de maneira imediata. Já a madeira é empregada na caixotaria e para produção de carvão (Lorenzi, 1998).

A espécie *Inga laurina* (Sw.) Willd, no Brasil, ocorre nos estados do Pará, Amazonas, Acre, Maranhão, Ceará, Paraíba, Pernambuco, Bahia, Goiás, Distrito Federal, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Espírito Santos, São Paulo e Rio de Janeiro e está presente nos domínios fitogeográficos da Amazonia, da Caatinga, do Cerrado e da Mata Atlântica (Silva, 2010).

Na arborização possui função ornamental, além do fornecimento de sombra e alimento, sendo comumente encontrada na arborização de Brasília. Por se uma leguminosa, apresenta, também, vantagens na recuperação de áreas degradadas. A fixação de nitrogênio atmosférico permite o enriquecimento do solo, melhorando sua fertilidade e aumentando a capacidade de retenção de água, tornando o ambiente propício para o desenvolvimento de outras espécies. Além disso, atrai animais polinizadores e dispersores (Schulz et al, 2014; Nogueira et al, 2012).

### **3.4 Práticas de adubação e nanofertilizantes**

O desenvolvimento vegetativo depende de diversos fatores, um deles é a fertilidade do solo e a capacidade de fornecer nutrientes. Cada espécie apresenta diferentes necessidades nutricionais, sendo os macronutrientes necessários: o nitrogênio, que é requerido em maiores quantidades pela maioria das espécies e atua na estrutura de metabólitos fundamentais; o fósforo, que é acumulado com necessidades menores, mas que é integrante de compostos importantes para integridade das membranas celulares; o potássio, que é o segundo requerido em quantidade e participa de vários fenômenos fisiológicos no interior da planta; o cálcio, que atua como componente estrutural; o magnésio, que participa como átomo central da molécula de clorofila; e o enxofre, sendo um componente estrutural dos aminoácidos. Além disso, existem os micronutrientes, que também desempenham papel importante no crescimento vegetativo. No caso de situações em que um ou mais nutrientes apresenta baixos índices de presença no solo, o crescimento da planta pode ser restringido (Batista et al., 2018).

Nesse contexto, a adubação desempenha um papel crucial para produção de mudas, auxiliando no fornecimento de nutrientes essenciais para o crescimento das plantas, proporcionando, assim, maior potencial produtivo; sendo essencial considerar as necessidades da cultura (Batista et al, 2018). A partir dessa necessidade, diferentes técnicas e metodologias foram desenvolvidas, visando atender as demandas produtivas; entre elas está: a adubação orgânica, os fertilizantes minerais, entre outros, sendo importante a compreensão dos efeitos desses insumos para produção (Purquerio, 2010).

A biotecnologia, nesse caso, proporciona um aprofundamento nos estudos e permite a criação de novas tecnologias para o melhoramento genético e evolução dos insumos. A partir disso, é possível um entendimento maior das características vegetativas de cada espécie e suas necessidades (Matos, 2011). Assim, biofertilizantes são desenvolvidos a partir de princípios ativos ou agentes orgânicos, isentos de agrotóxicos, que promovem o desenvolvimento de parte

ou toda planta cultivada por meio do aumento da eficácia no uso de (Butruille, 2021; Souza et al, 2022).

Associado com a nanotecnologia, é possível ampliar a atuação dos adubos e fertilizantes promovendo melhorias estruturais, assim, diferentes metais estão sendo estudados para a formação de nanopartículas entre eles o óxido de cobre (CuO) e o óxido de zinco (ZnO); no entanto, ajustes incorretos de concentração e tempo de exposição ocasionam toxicidade nas espécies (Neto, 2020).

Em contraponto, a descoberta dos C-Dots (nanopartículas fluorescentes de carbono) promove menor toxicidade ambiental e maior biocompatibilidade, assim, uma grande variedade de aplicações agrícolas foi desenvolvida, visando o monitoramento das culturas e melhorias na eficiência do uso de fertilizantes e adubos (Lemos, 2021).

Nesse sentido, um biofertilizante a base de nanopartículas de carbono (C-Dots), com nome comercial de Arbolina, desenvolvido por pesquisadores da Universidade de Brasília – UnB, desempenha função de proteína transportadora na membrana plasmática das células vegetais e tem apresentado resultados favoráveis no aumento da eficiência produtiva dos cultivos (Souza et al, 2022). Sendo constituída de 47% de carbono, 17% e 4% de hidrogênio, pode ser encontrada tanto de forma líquida como sólida, o que viabiliza diferentes formas de aplicação e utilização.

## **4 MATERIAL E MÉTODOS**

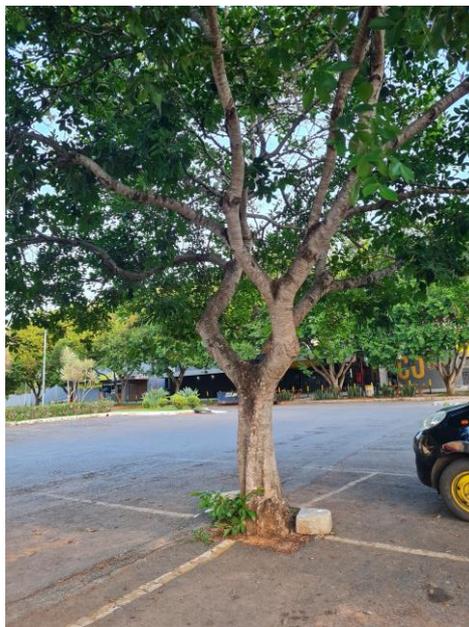
### **4.1 Local de implantação do experimento**

A pesquisa foi realizada no viveiro florestal da Fazenda Água Limpa – FAL da Universidade de Brasília – UnB, localizada no Núcleo Rural Vargem Bonita, cujas coordenadas da UTM (Projeção Universal Transversal de Mercator) são 15°56'54,92''S e 47°55'56,47''W, em Brasília, DF. O clima da região é predominantemente Aw, segundo a classificação de Köppen-Geiger, com inverno seco e verão chuvoso, com precipitação média anual de 1500mm e temperatura média anual de 23,4°C (Cardoso et al, 2014).

### **4.2 Obtenção e preparo das sementes**

A escolha da espécie *Inga laurina* (SW.) Willd ocorreu devido ao potencial na arborização urbana de Brasília e na recuperação de áreas degradadas, além de possuir abundante número de indivíduos na capital.

A sementes utilizadas no experimento foram coletadas no mês de março por meio da coleta manual em indivíduo arbóreo localizado no Setor de Mansões Dom Bosco, próximo a QI 23 do Lago Sul (Figura 1). Após a coleta, as sementes foram beneficiadas de maneira manual, em que as vagens foram abertas e retirada as sementes que estavam envoltas do arilo branco, sendo lavadas em água corrente para limpeza.



**Figura 1.** Indivíduo arbóreo de *Inga laurina* utilizado no experimento.

As sementes beneficiadas foram levadas para o semeio em sacos plásticos para mudas, com, aproximadamente, 10cm de largura e 20cm de altura (Figura 2) preenchidos com uma mistura de 70% de latossolo vermelho e 30% de substrato para plantas, de nome comercial Bioplant, composto de uma mistura de vermiculita, turfa de *sphagnum*, casca de arroz, bagaço de cana, casca de pinos, fibra de coco, calcário, adubo fertilizante 11-52-00 e adubo fertilizante 14-16-18, sendo utilizado para adubação de base. A partir dos padrões apresentados, foi colocado uma semente em cada saco plástico e mantidos em tela de sombreamento de 50% até a emergência das plântulas (Figura 3).



**Figura 2.** Sacos plásticos preenchidos.



**Figura 3.** Experimento com tela de sombreamento.

#### **4.3 Obtenção do biofertilizante (Arbolina)**

O biofertilizante à base de nanopartícula de carbono, foi obtido de maneira líquida concentrada e produzido pela empresa Krilltech S.A.

#### **4.4 Implantação do experimento**

A implementação do experimento ocorreu no dia 14 de março de 2023, em canteiros no chão cobertos com sombrite ou tela de sombreamento de 50% até a germinação, que ocorreu após 20 dias. Depois da emergência das plântulas, a tela foi retirada e as plântulas permaneceram à pleno sol. A partir dessa data foi iniciado os tratamentos de adubação de cobertura com solução líquida de 10% de arbolina uma vez por semana totalizando 6 semanas. Durante todo o experimento foi realizado a rega automática duas vezes ao dia, sendo a primeira no início da manhã e a segunda no final da tarde, durante um período de 2 minutos a cada turno.

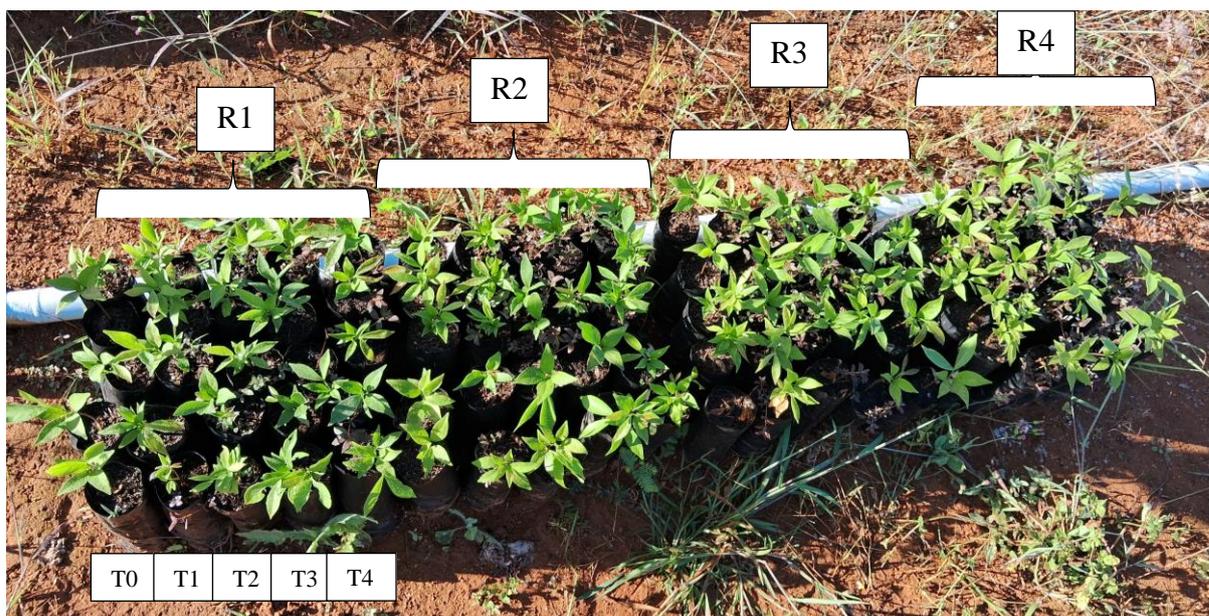
#### 4.5 Delineamento Experimental

O experimento foi implantado segundo um Delineamento Inteiramente Casualizado (DIC), com 5 tratamentos (Tabela 1).

**Tabela 1.** Composição dos tratamentos utilizados com solução líquida de arbolina.

Tratamentos	Composição
T0	Sem aplicação (controle)
T1	1 ml de solução com 10% de arbolina
T2	2 ml de solução com 10% de arbolina
T3	3 ml de solução com 10% de arbolina
T4	4 ml de solução com 10% de arbolina

Para cada tratamento foi realizado 4 (quatro) repetições de 5 mudas, totalizando 100 mudas em todo o experimento. A solução foi aplicada manualmente com auxílio de uma seringa de 5ml. A Figura 4 demonstra a disposição do experimento.



**Figura 4.** Disposição dos tratamentos para as mudas de *Inga laurina* (SW.) Willd.

#### 4.6 Obtenção dos dados

Após 60 dias desde o início do experimento as seguintes variáveis morfológicas foram avaliadas:

#### 4.6.1 Altura da parte aérea (H)

Para a obtenção dos valores do comprimento da parte aérea foi utilizado uma régua métrica graduada com precisão de 0,1 centímetro, sendo considerado a altura a partir do nível do substrato até ao ponto máximo do caule.

#### 4.6.2 Diâmetro do coleto (DC)

A medição do diâmetro do coleto foi realizada por meio de paquímetro digital, com precisão de 0,02 milímetros, próximo ao nível do substrato.

#### 4.6.3 Número de Folhas (NF)

A espécie apresenta folhas compostas paripinadas de 2 a 3 pares de folíolos. Diante disso, foi contabilizado a quantidade em cada muda.

#### 4.6.4 Comprimento da raiz pivotante (R)

Para a obtenção dos valores do comprimento da raiz pivotante foi utilizado uma régua métrica graduada com precisão de 0,1 centímetro, sendo considerado a altura a partir do nível do solo até ao ponto máximo da raiz.

#### 4.6.5 Diâmetro da raiz pivotante (DR)

A medição do diâmetro da raiz pivotante foi realizada por meio de paquímetro digital, com precisão de 0,01 milímetros, próximo ao meio do comprimento.

#### 4.6.6 Número de raízes secundárias (RS)

Foi realizado a contagem manual das raízes axiais (secundárias) de cada indivíduo.

#### 4.6.7 Número de nódulos na raiz (NN)

Foi realizado a contagem dos nódulos encontrados no sistema radicular de cada indivíduo.

#### 4.6.8 Massa seca da parte aérea (Ma) e massa seca do sistema radicular (Mr)

Para realizar a medição da massa seca tanto da parte aérea quanto da raiz, as amostras foram inseridas em papel pardo e colocadas em estufas de circulação, da marca DeLeo do Laboratório de Tecnologia de Sementes e Biotecnologia Florestal, e expostas a temperatura de 70°C, por período de 72h, até atingirem peso constante. Após esse período, utilizou-se uma balança analítica de precisão de 0,0001g.

#### 4.7 Parâmetros e procedimentos estatísticos

A partir das variáveis encontradas, os parâmetros avaliados foram:

##### 4.7.1 Massa seca total (MST)

É o somatório da massa seca da parte aérea e da massa seca da raiz, em gramas.

$$MST = Ma + Mr$$

##### 4.7.2 Relação da altura da parte aérea com o diâmetro do coleto (RHDC)

Determinado pela razão entre a altura da parte aérea pelo diâmetro do coleto, em que o menor valor do índice indica maior capacidade de sobrevivência da muda em campo

$$RHDC = \frac{H}{DC}$$

##### 4.7.3 Relação da altura da parte aérea com a massa seca da parte aérea (RHMa)

Determinado pela razão entre a altura da parte aérea e a massa seca da parte aérea, indicando o potencial de estabelecimento da muda em campo, em que quanto mais próximo de zero o índice mais chances de sobrevivência.

$$RHMa = \frac{H}{Ma}$$

##### 4.7.4 Relação da massa seca da parte aérea com a massa seca do sistema radicular (RMaMr)

Determinado pela razão entre a massa seca da parte aérea com a massa seca da raiz, sendo o índice ideal próximo de 2,00, indicando melhor desenvolvimento.

$$RMaMr = \frac{Ma}{Mr}$$

##### 4.7.5 Índice de Qualidade Dickson (IQD)

O índice de qualidade Dickson é utilizado para avaliar a qualidade das mudas, considerando tanto a robustez quanto o equilíbrio da distribuição de biomassa da muda (Fonseca, 2002). Assim, é utilizado a massa seca total (MST), em gramas; a altura da parte aérea (H), em centímetros; o diâmetro do coleto (DC), em milímetros; a massa seca da parte aérea (Ma), em gramas; e a massa seca da raiz (Mr), em gramas.

$$IQD = \frac{MST}{\frac{H}{DC} + \frac{Ma}{Mr}}$$

#### 4.8 Análise de dados

Após a homogeneidade e uniformidade dos dados, foi realizada a análise de variância (ANAVA) e teste Tukey, ambos com 5% de significância, sendo utilizado o *software* SISVAR (Ferreira, 2011). Além disso, foi feita análise de regressão dos dados e identificada a curva de tendência que mais se adequa aos valores obtidos. Assim, os gráficos foram elaborados com o auxílio do *software* matemático Excel.

### 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na realização do experimento foi obtido 100% da germinação das sementes de *Inga laurina* conforme exposto por Lorenzi (1998).

#### 5.1 Parte Aérea

A análise de variância (ANAVA) mostra que as variáveis altura da parte aérea e diâmetro do coleto não apresentaram diferença estatística entre os tratamentos (Tabela 2). No entanto, o número de folhas apresentou diferença entre os tratamentos. Os maiores valores de variação entre as médias foram observados para as variáveis diâmetro de coleto e número de folhas.

**Tabela 2.** Análise de variância para as variáveis de altura da parte aérea, diâmetro do coleto e número de folhas.

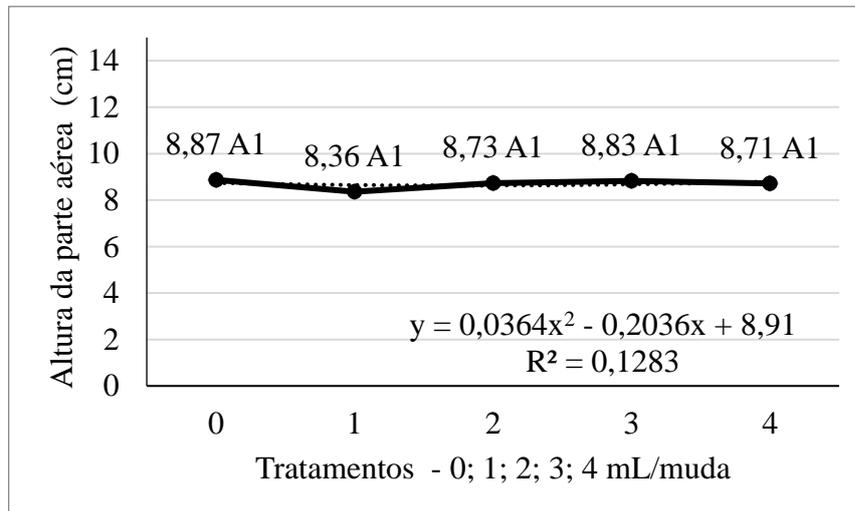
	FV	GL	H	DC	NF
QM Tratamento		4	0,82 <sup>ns</sup>	0,27 <sup>ns</sup>	13,14*
QM resíduo		95	1,41	0,12	3,43
CV (%)		-	13,62	23,75	24,18
Média geral		-	8,70	1,44	7,66

Fator de variação (FV); Quadrado Médio (QM); Coeficiente de Variação (CV%); Grau de Liberdade (GL); altura da parte aérea (H); Diâmetro do Coleto (DC); Número de Folhas (NF); significativo (\*); não significativo (ns).

Para a altura da parte aérea é um fator importante para determinar a qualidade e o desenvolvimento da muda. No trabalho desenvolvido por Jesus et al (2016), é possível observar que os valores obtidos para altura do caule, para tratamentos com diferentes substratos; com e sem adubação de cobertura, são superiores, com uma diferença aproximada de 3 cm, no entanto, essa diferença pode ser justificada pelo período maior de implantação do experimento.

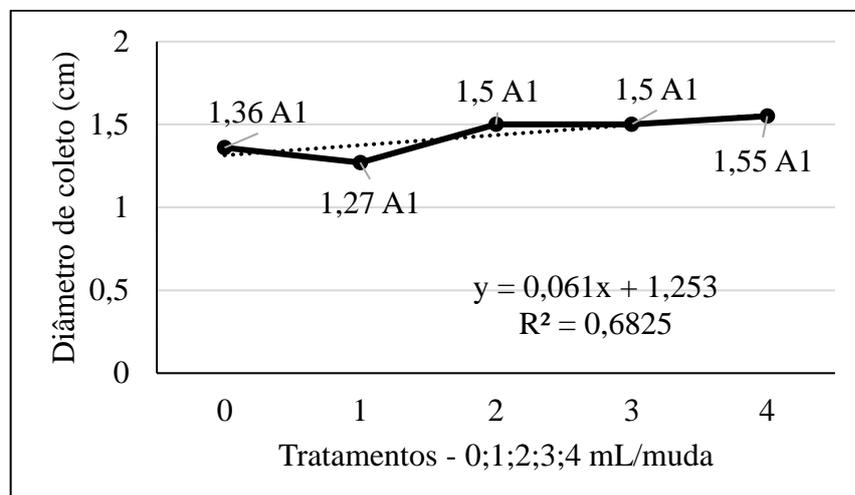
Ao observar os valores médios para a altura da parte aérea obtidos a partir do teste Tukey ( $\alpha=0,05$ ), é possível identificar que os tratamentos não diferem entre si, apesar do tratamento zero (T0), ou seja, com 0 ml de solução à 10% de arbolina, apresentar valor superior aos demais

tratamentos. Em relação a análise de regressão, foi analisado diferentes modelos visando obter a curva de tendência que melhor ajustava os dados, nesse caso, o modelo polinomial foi o mais adequado, no entanto, o valor obtido para o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) foi baixo, o que indica uma reduzida representatividade do modelo (Figura 5).



**Figura 5.** Valores médios da altura de mudas de *Inga laurina* (SW.) Willd., com nanofertilizante em adubação de cobertura.

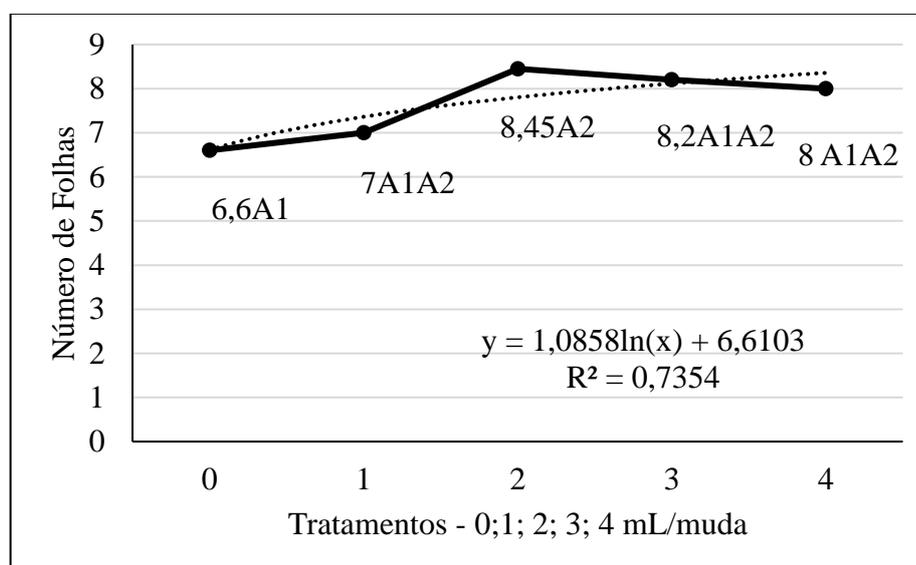
O coleto é a parte de transição da raiz para o caule, em que o maior diâmetro pode indicar maior sucesso produtivo das mudas (Silva et al, 2020). No estudo desenvolvido por Jesus et al (2016) foram apresentadas médias superiores para o diâmetro do coleto, entretanto, essa divergência também pode ser justificada pela diferença do tempo de realização do experimento. As médias de diâmetro do coleto não apresentaram diferenças significativas (Tukey  $\alpha=0,05$ ); ainda assim, o tratamento 3 (T3), apresentou maior valor em comparação com os demais. Além disso, o modelo obtido após análise de regressão indica melhor ajuste dos dados (Figura 6).



**Figura 6.** Valores médios do diâmetro de coleto de mudas de *Inga laurina* (SW.) Willd., com nanofertilizante em adubação de cobertura.

As folhas são responsáveis pelo processo de fotossíntese, sendo o órgão em que ocorre maior concentração de clorofila, apresentando maior área exposta a luz, permitindo a execução da sua função (Souza et al, 2013). Os dados obtidos indicaram um elevado número de folhas quando comparado ao estudo realizado por Leão et al (2012), em que foi analisado a influência de diferentes substratos no crescimento de *Inga laurina* durante 34 dias.

Os dados médios do número de folhas mostraram que os tratamentos 0, 1, 3 e 4 não apresentaram diferenças estatísticas. Já o tratamento 2 apresentou média significativamente superior ao tratamento 0. Para a análise de regressão foi possível ajustar o modelo que garante uma boa previsibilidade dos dados (Figura 7).



**Figura 7.** Valores médios do número de folhas de mudas de *Inga laurina* (SW.) Willd., com nanofertilizante em adubação de cobertura.

## 5.2 Sistema Radicular

A raiz proporciona a absorção de água e sais minerais e fixação do vegetal ao solo, sendo originada a partir da radícula do embrião, no qual é gerado a raiz primária (pivotante) que, por sua vez, origina as raízes secundárias, terciárias e assim sucessivamente (Silva et al, 2020). Nesse sentido, as variáveis morfológicas avaliadas são necessárias para identificar a qualidade das mudas.

Mudas com sistema radicular bem desenvolvido, proporcionam maior crescimento. Quanto maior a raiz pivotante, maior será a capacidade de obtenção de água. Já o elevado

número de raízes secundárias possibilita maior captação de nutrientes e fixação no solo, o que permite maior taxa de sobrevivência da muda em campo (Gomes et al, 2003).

A presença de nódulos no sistema radicular de *Inga laurina* (SW.) Willd proporciona a interação com bactérias capazes de fixar nitrogênio e fungos micorrízicos; contribuindo, assim, para o processo de reciclagem de nutrientes no solo, sendo um fator importante para a recuperação de solos degradados, por exemplo (Brito, 2014).

Em relação ao sistema radicular, a análise de variância ( $\alpha=0,05$ ) realizada para as variáveis de comprimento da raiz pivotante, diâmetro da raiz pivotante e número de raízes secundárias não foi significativa. Já para no número de nódulos presente no sistema radicular houve diferença significativa entre os tratamentos, mesmo tendo sido observado elevado coeficiente de variação, o que aponta alta discrepância nos valores dentro dos tratamentos (Tabela 3).

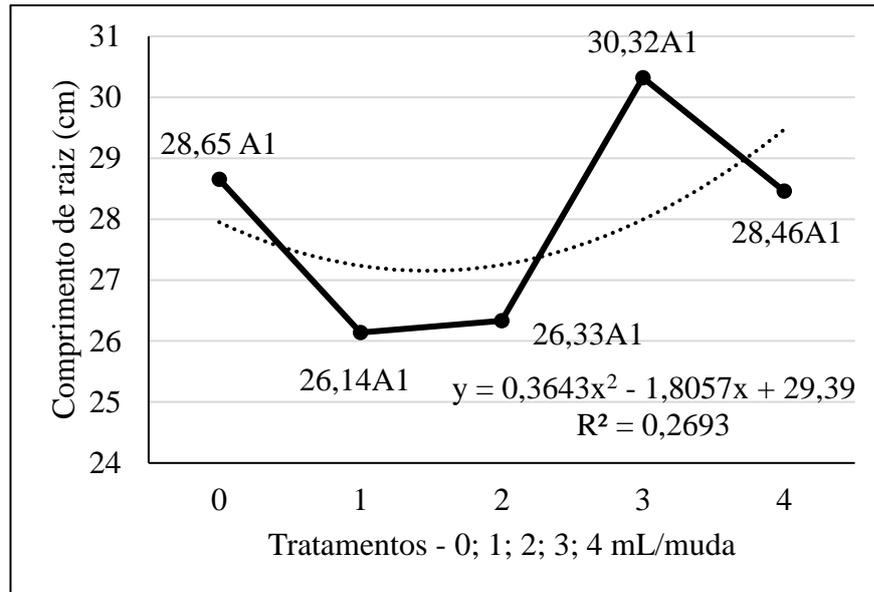
**Tabela 3.** Tabela de análise de variância para as variáveis de comprimento da raiz, diâmetro da raiz pivotante, número de raiz secundária e número de nódulos no sistema radicular.

FV	GL	CR	DR	RS	NN
QM Tratamento	4	61,4321 <sup>ns</sup>	0,1687 <sup>ns</sup>	308,035 <sup>ns</sup>	204,665 <sup>**</sup>
QM resíduo	95	62,85	0,13	697,71	15,05
CV (%)	-	28,33	30,10	37,85	122,01
Média geral	-	27,98	1,18	69,79	3,18

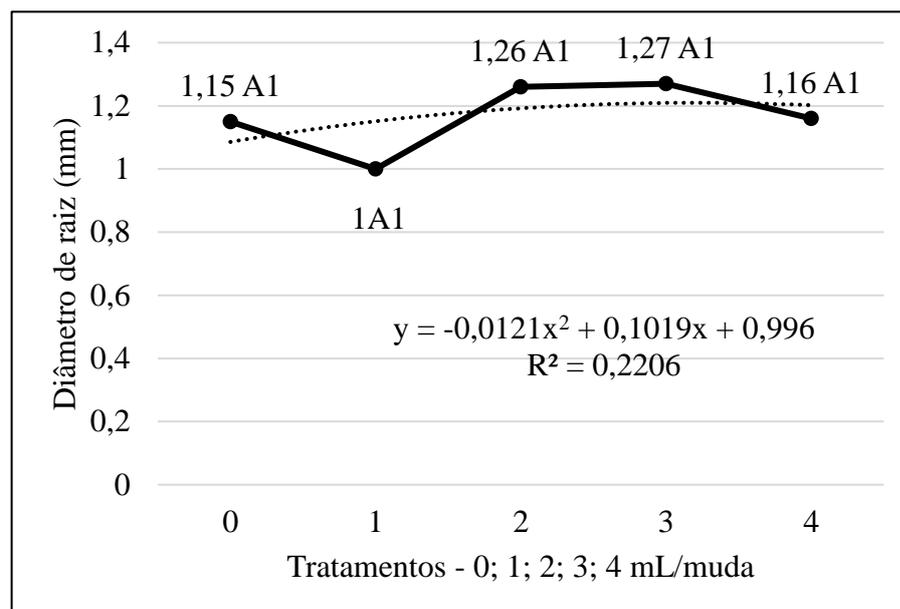
Fator de variação (FV); Quadrado Médio (QM); Coeficiente de Variação (CV%); Grau de Liberdade (GL); Comprimento da raiz pivotante (CR); Diâmetro da raiz pivotante (DR); Número de raiz secundária (RS); Número de nódulos no sistema radicular (NN); significativo (\*); significativo a 1% (\*\*); não significativo (ns).

O comprimento da raiz pivotante e o número das raízes secundárias geraram resultados mais elevados que do estudo desenvolvido por Ribeiro (2022), que utilizou diferentes composições de substratos para avaliar o crescimento de mudas de *Inga laurina*, essa diferença pode ter sido ocasionada pela utilização da adubação de cobertura com Arbolina que incentiva o desenvolvimento radicular das plantas,

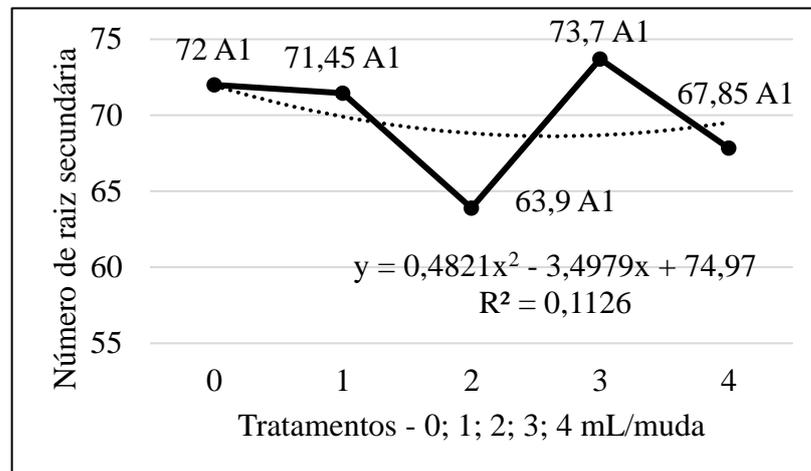
Os valores médios obtidos para o comprimento da raiz pivotante, diâmetro da raiz pivotante e número de raízes secundárias presentes apresentaram diferenças significativas (Teste Tukey  $\alpha=0,05$ ). Apesar disso, o tratamento 3, ou seja, 3ml de solução à 10% de arbolina, apresentou as maiores médias para os referidos parâmetros, sendo um indicativo para a determinação do tratamento mais adequado visando desenvolvimento radicular na espécie florestal nativa. Em contraponto, após análise de diferentes modelos de regressão linear, o modelo que melhor ajustou foi o polinomial e, apesar disso, esclarece pouco a variabilidade dos dados obtidos (Figuras 8, 9 e 10).



**Figura 8.** Valores médios do comprimento de raiz de mudas de *Inga laurina* (SW.) Willd., com nanofertilizante em adubação de cobertura.

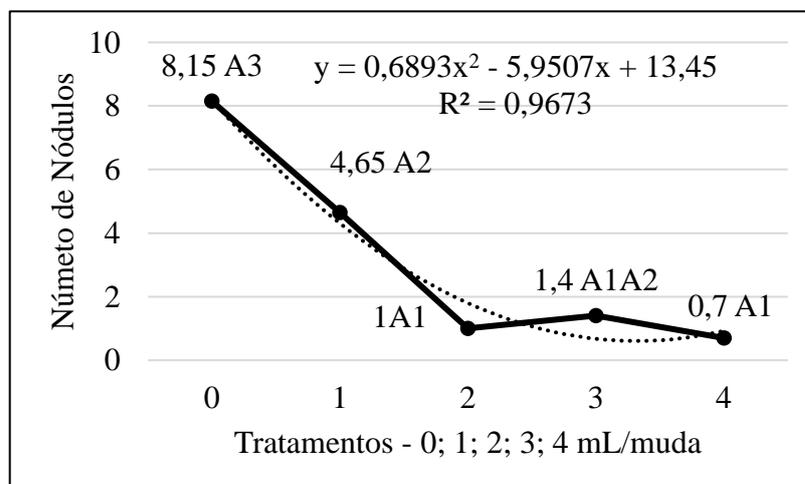


**Figura 9.** Valores médios do diâmetro de raiz de mudas de *Inga laurina* (SW.) Willd., com nanofertilizante em adubação de cobertura.



**Figura 10.** Valores médios do número de raiz secundária de mudas de Inga laurina (SW.) Willd., com nanofertilizante em adubação de cobertura.

Já para o número de nódulos encontrados no sistema radicular das mudas, verificou-se diferença significativa nos tratamentos após o teste Tukey ( $\alpha=0,05$ ), em que o tratamento que não houve a utilização de solução à 10% de arbolina, tratamento 0, apresentou desenvolvimento superior aos demais tratamentos. Além disso, os tratamentos 1 e 3 são os que apresentaram as seguintes maiores médias, respectivamente, e não apresentam diferença significativa. Os tratamentos 2, 3 e 4, também não apresentam diferenças significativas. Já o modelo de regressão ajustado permite estimar os valores obtidos com elevada precisão (Figura 11).



**Figura 11.** Valores médios do número de nódulos de mudas de Inga laurina (SW.) Willd., com nanofertilizante em adubação de cobertura.

### 5.3 Massa Seca

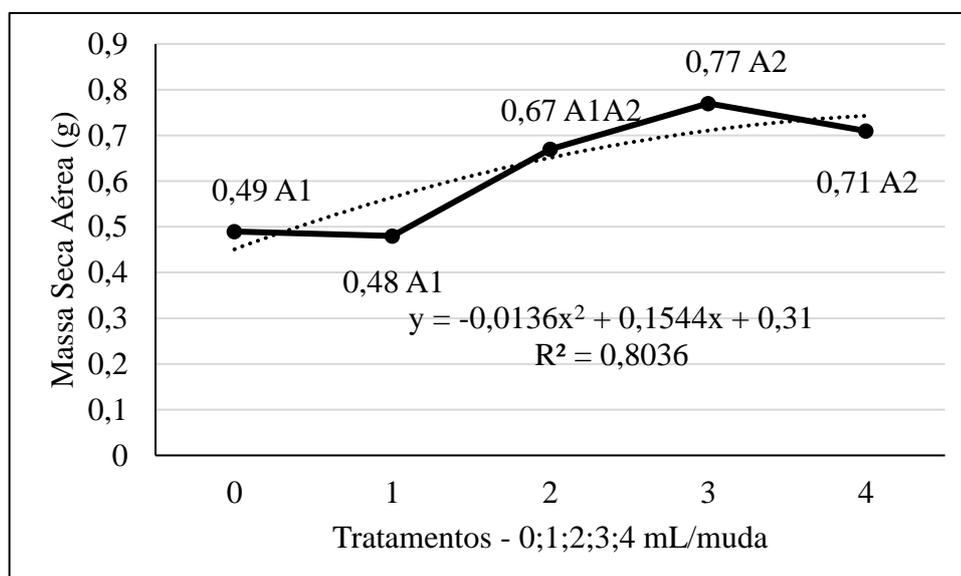
A biomassa é um importante indicador de qualidade das mudas, estando diretamente relacionada com o desempenho inicial das mudas após o plantio (Dias et al, 2022). Desse modo, os valores encontrados a partir da análise de variância ( $\alpha=0,05$ ) para a massa seca da parte aérea e massa seca total foram significativos, apresentando elevado coeficiente de variação. Já a massa seca do sistema radicular não apresentou diferença significativa e também apontou elevado coeficiente de variação no conjunto dos tratamentos (Tabela 4).

**Tabela 4.** Tabela de análise de variância para as variáveis de massa seca da parte aérea, massa seca do sistema radicular e massa seca total.

FV	GL	Ma	Mr	MST
QM Tratamento	4	0,35*	0,01 <sup>ns</sup>	0,05*
QM resíduo	95	0,05	0,01	0,02
CV (%)	-	36,07	41,15	65,62
Média geral	-	0,62	0,27	0,19

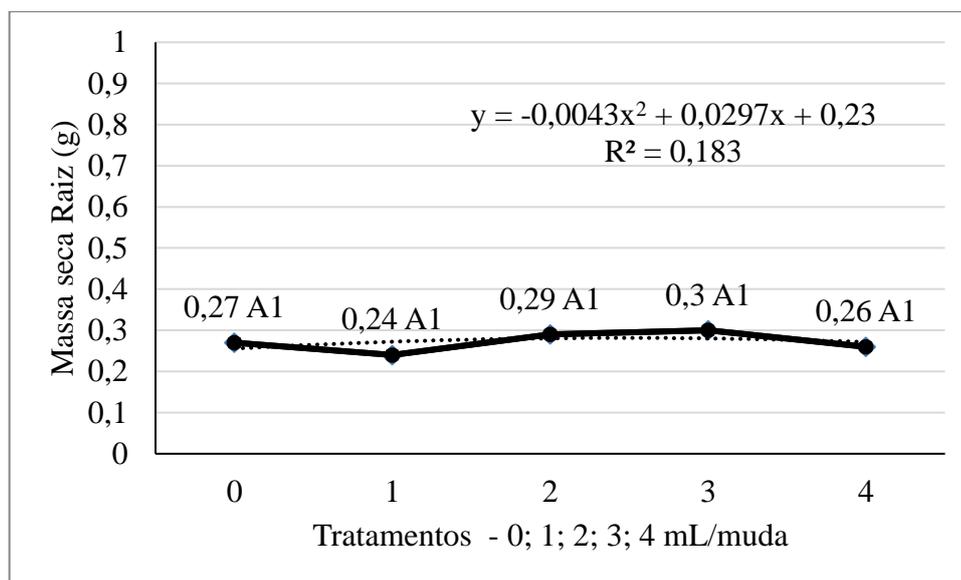
Fator de variação (FV); Quadrado Médio (QM); Coeficiente de Variação (CV%); Grau de Liberdade (GL); Massa seca da parte aérea (Ma); Massa seca do sistema radicular (Mr); Massa seca total (MST); significativo (\*); não significativo (ns).

A massa seca da parte aérea apresentou diferenças nos tratamentos, segundo o teste Tukey ( $\alpha=0,05$ ). O tratamento 3 não apresenta diferenças entre os tratamentos 2 e 4, já os tratamentos 0, 1 e 2 são semelhantes. Assim sendo, o tratamento 3 é superior aos tratamentos 0 e 1. Associado a isso com o modelo de regressão polinomial foi possível determinar a curva de tendência que explicasse adequadamente a variabilidade dos dados, como observado na Figura 12.



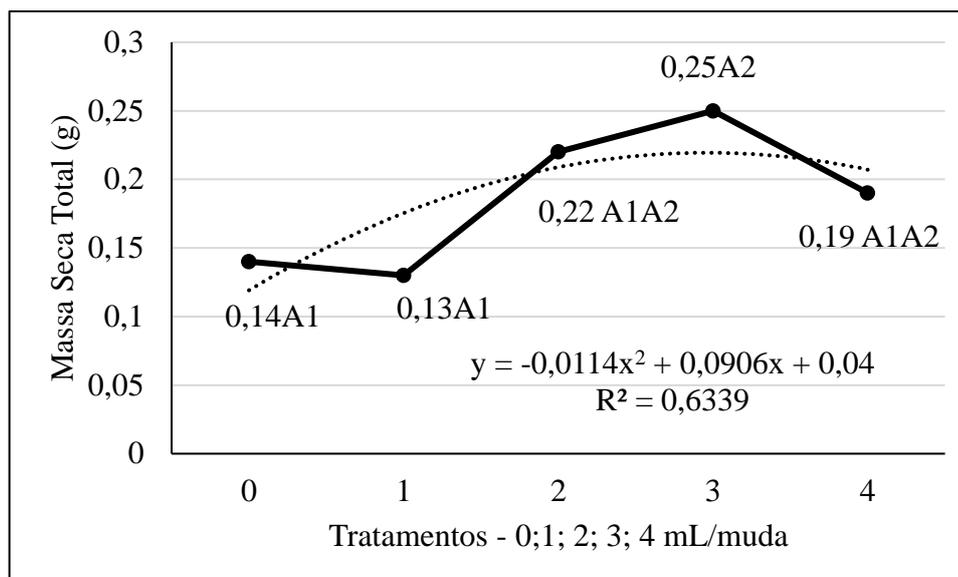
**Figura 12.** Valores médios da massa seca da parte aérea de mudas de *Inga laurina* (SW.) Willd., com nanofertilizante em adubação de cobertura.

Para a massa seca do sistema radicular não houve diferenças significativas entre os tratamentos, segundo o teste Tukey ( $\alpha=0,05$ ), no entanto, o tratamento 3 apresentou maiores médias, o que indica maior quantidade de fibras e, conseqüentemente, maior capacidade de crescimento radicular. O modelo de regressão polinomial destacou-se por exibir o mais elevado coeficiente de determinação ( $R^2$ ), embora este ainda seja considerado baixo, indicando uma limitada capacidade de explicar a variabilidade observada nos dados. (Figura 13).



**Figura 13.** Valores médios da massa seca do sistema radicular de mudas de *Inga laurina* (SW.) Willd., com nanofertilizante em adubação de cobertura.

O teste Tukey ( $\alpha=0,05$ ) expõe que para a massa seca total ocorreu diferenças significativas entre os tratamentos, em que o tratamento 3 é estatisticamente superior ao tratamento 0 e 1; no entanto, semelhante aos tratamentos 2 e 4. Já os tratamentos 0, 1, 2 e 4 não apresentaram diferenças significativas. Ao empregar o modelo de regressão polinomial, conseguimos estabelecer uma curva de tendência que oferece uma explicação apropriada para as variações observadas nos dados. (Figura 14).



**Figura 14.** Valores médios da massa seca total de mudas de *Inga laurina* (SW.) Willd., com nanofertilizante em adubação de cobertura.

#### 5.4 Parâmetros de Qualidade

Após análise de variância ( $\alpha=0,05$ ) ficou perceptível a que os parâmetros de qualidade relação massa seca da parte aérea e massa seca do sistema radicular e o Índice de Qualidade Dickson apresentaram níveis significativos. Além disso, a variação dos conjuntos de tratamentos foi elevada. Já para os parâmetros de relação entre a altura da parte aérea e diâmetro do coleto e relação entre a altura da parte aérea e massa seca da parte aérea não foram significativos para os tratamentos. De maneira semelhante, o coeficiente de variação também foi elevado (Tabela 5).

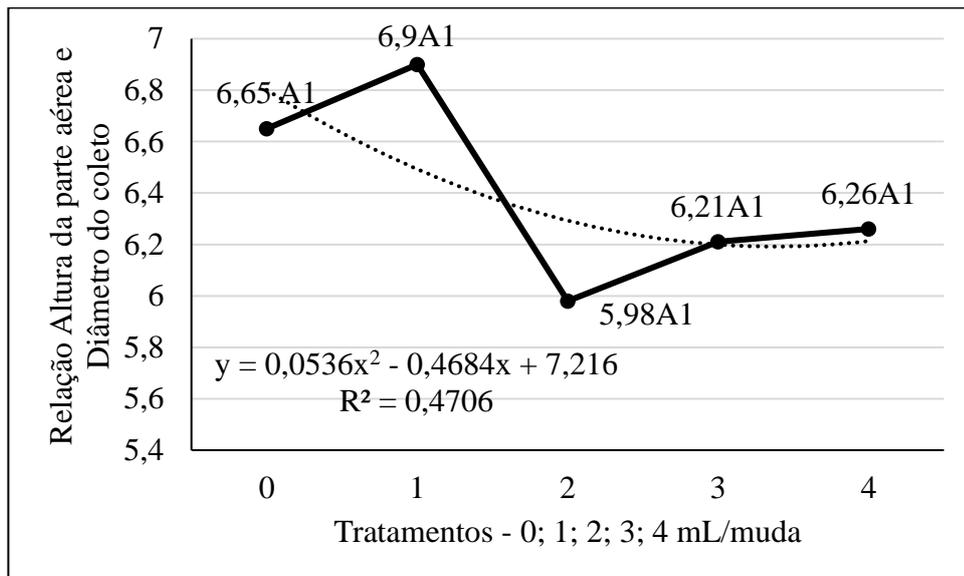
**Tabela 5.** Tabela de análise de variância para os parâmetros de qualidade.

FV	GL	RHDC	HMa	MaMr	IQD
QM Tratamento	4	2,70 <sup>ns</sup>	266,80 <sup>ns</sup>	2,25*	0,00082*
QM resíduo	95	3,55	347,27	0,56	0,00026
CV (%)	-	29,4	104,29	30,8	68,95
Média geral	-	6,41	17,867	2,42	0,02

Fator de variação (FV); Quadrado Médio (QM); Coeficiente de Variação (CV%); Grau de Liberdade (GL); Relação altura da parte aérea e diâmetro do coleto (RHDC); Relação altura da parte aérea com a massa seca da parte aérea (HMa); Relação massa seca da parte aérea e massa seca do sistema radicular (MaMr); Índice de qualidade Dickson (IQD); significativo (\*); não significativo (ns).

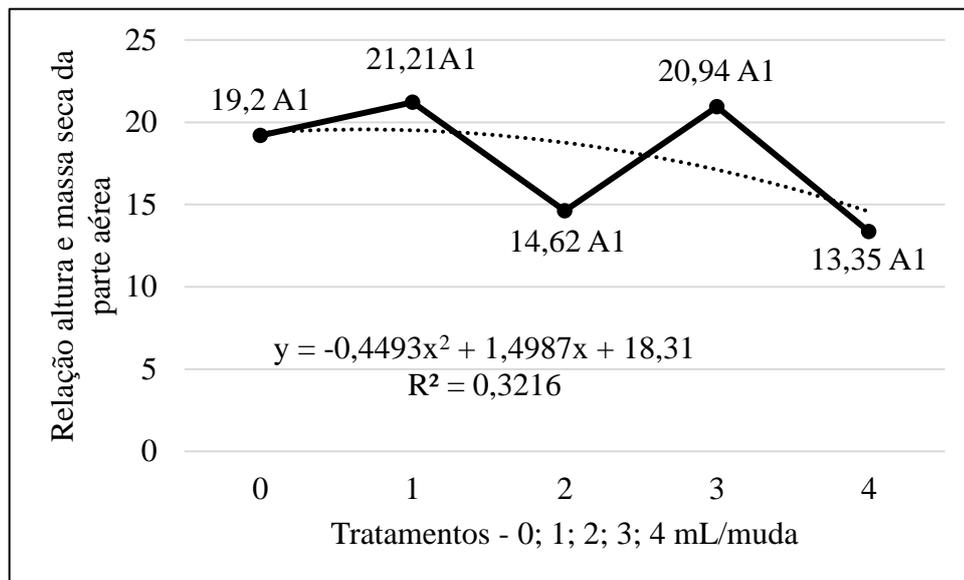
A relação entre a altura da parte aérea e o diâmetro do coleto é utilizada para indicar o equilíbrio de crescimento, em que quanto menor o seu valor maior a capacidade de desenvolvimento das mudas. A desproporcionalidade pode ocasionar em tortuosidade e

lentidão no crescimento (Dias, 2022). Nesse sentido, a partir do teste de Tukey ( $\alpha=0,05$ ), não foi observada diferenças significativas entre os tratamentos, entretanto, neste caso, o tratamento 2, ou seja, com 2ml de solução à 10% de arbolina, apresentou os menores valores, indicando maior equilíbrio. O modelo de regressão polinomial demonstrou o mais favorável coeficiente de determinação ( $R^2$ ), embora esse valor, mesmo sendo o melhor entre as opções, permaneça relativamente modesto. Essa constatação sugere que o modelo ainda não consegue explicar completamente a diversidade presente nos dados (Figura 15).



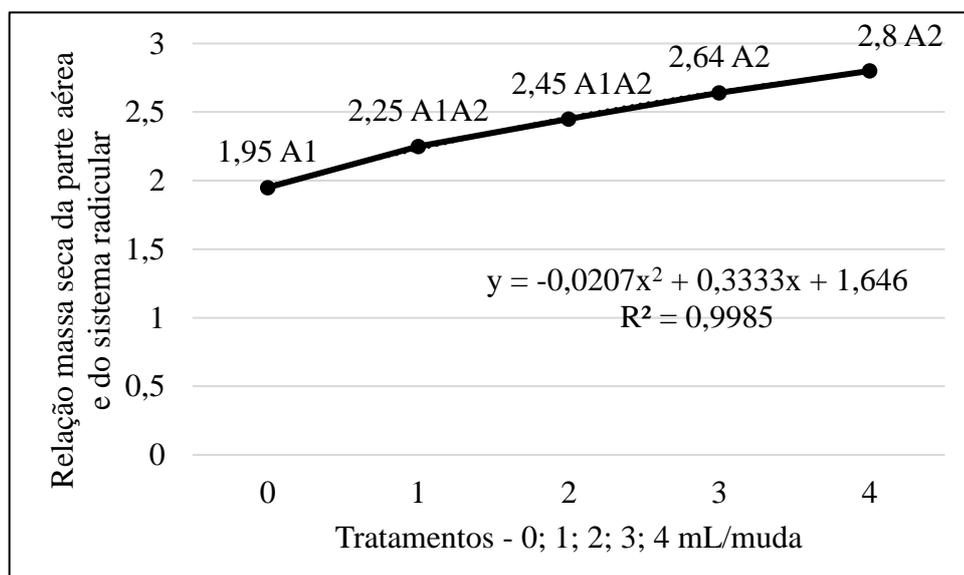
**Figura 15.** Valores médios da relação altura e do diâmetro do coleto de mudas de *Inga laurina* (SW.) Willd., com nanofertilizante em adubação de cobertura.

A relação comprimento do coleto e massa seca da parte aérea, de maneira semelhante a relação comprimento e diâmetro do coleto, apresenta equilíbrio de crescimento, em que quanto menor essa relação maior será o índice de qualidade da muda (Dias, 2022). Assim, apesar de não apresentar diferenças estatísticas pelo teste Tukey ( $\alpha=0,05$ ), o tratamento que melhor apresentou índice de qualidade, de acordo com esse parâmetro, foi o tratamento 4, com 4ml de solução à 10% de arbolina. Ao adotar o modelo de regressão polinomial, é evidenciado um  $R^2$  mais satisfatório em comparação com outras abordagens. No entanto, mesmo sendo o mais alto disponível, esse coeficiente revela uma limitada capacidade de explicação da variabilidade dos dados (Figura 16).



**Figura 16.** Valores médios relação da altura do coleto e da massa seca da parte aérea de mudas de Inga laurina (SW.) Willd., com nanofertilizante em adubação de cobertura.

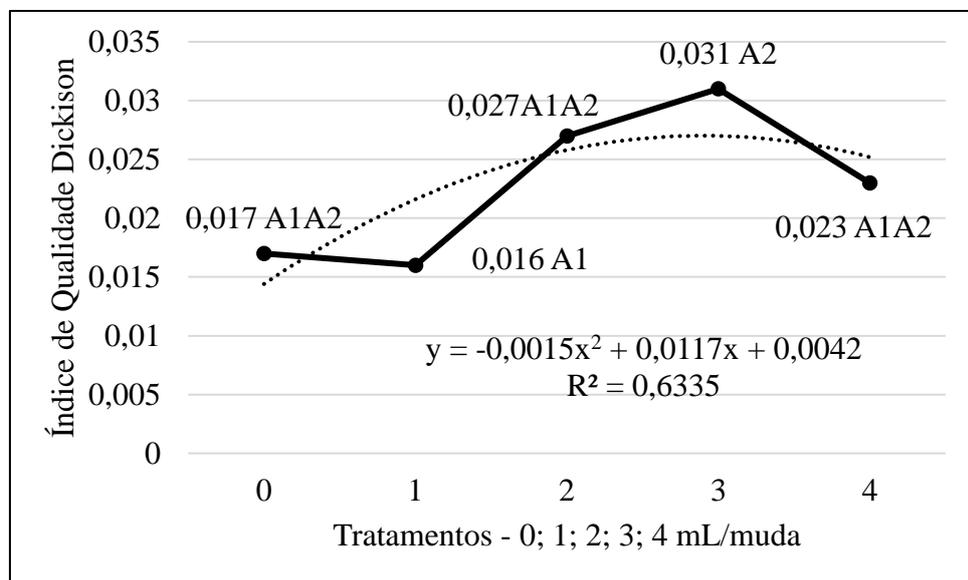
Para a relação da massa seca da parte aérea e massa seca do sistema radicular a melhor indicação de qualidade da muda ocorre nos valores próximos a 2,0, ou seja, a situação de melhor desenvolvimento é quando a biomassa seca do sistema radicular é superior em 2 vezes à biomassa seca da parte aérea (Dias, 2022). Nesse caso, houve diferença estatística no teste Tukey ( $\alpha=0,05$ ), em que os tratamentos apresentaram valores próximos ao indicado, sendo o tratamento controle (T0) o mais próximo de 2,0. A aplicação do modelo de regressão polinomial permitiu identificar uma curva de tendência capaz de explicar de maneira apropriada a variabilidade presente nos dados (Figura 17).



**Figura 17.** Valores médios da relação da massa seca da parte aérea e a massa seca do sistema radicular de mudas de *Inga laurina* (SW.) Willd., com nanofertilizante em adubação de cobertura.

Por fim, o Índice de Qualidade Dickson é considerado um dos mais completos para a determinação da qualidade das mudas, levando em consideração diferentes variáveis para sua estimativa, sendo entendido que quanto maior seu valor melhor é o grau de qualidade. Para espécies florestais nativas é recomendado que o índice seja maior que 0,02 e menor que 10, indicando, assim, uma taxa elevada de sobrevivência pós plantio (Costa et al, 2020). No estudo de Goés et al (2015), foram obtidos índices mais elevados de qualidade Dickson nos tratamentos utilizando inoculação de bactérias diazotróficas e da adubação nitrogenada, principalmente o tratamento de controle positivo, ou seja, sem inoculação de bactéria e com adubação nitrogenada, além do experimento ter sido realizado em um maior período de tempo.

Nesse caso, por meio do teste Tukey ( $\alpha=0,05$ ), foi observado diferenças estatísticas de tratamento, sendo os tratamentos 0, 2, 3 e 4 semelhantes entre si, já o tratamento 3 é significativamente superior aos demais tratamentos, indicando melhor índice. ao empregar o modelo de regressão polinomial, conseguimos identificar uma curva de tendência que proporciona uma explicação apropriada para a variabilidade nos dados (Figura 18).



**Figura 18.** Valores médios do Índice de Qualidade Dickson de mudas de *Inga laurina* (SW.) Willd., com nanofertilizante em adubação de cobertura.

## 6 CONCLUSÕES

O tratamento com 3ml de solução à 10% de arbolina apresentou as melhores médias na maioria das variáveis analisadas, assim como, foi o mais indicado em relação ao Índice de Qualidade Dickson.

Em contraponto, a utilização do nanofertilizante ocasionou a redução do número de nódulos presente no sistema radicular, sendo uma característica importante para a nutrição e desenvolvimento vegetativo, mesmo não apresentando grande variação nos outros parâmetros.

Assim, todos os tratamentos apresentaram resultados adequados ao crescimento das mudas de *Inga laurina* (SW.) Willd, sendo necessário o aprofundamento desse estudo com maior variação de tratamentos visando a melhoria da produção florestal.

## 7 REFERÊNCIAS

BATISTA, Marcelo Augusto et al. **Princípios de fertilidade do solo, adubação e nutrição mineral**. 2018.

BICHUETI, Roberto Schoprone et al. **Cidades Sustentáveis no Contexto Brasileiro: A Importância do Planejamento para o Desenvolvimento Urbano Sustentável**. XIX ENGEMA, p. 1-16, 2019.

BRASIL, Presidência da República, Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000. **Sistema Nacional de Unidades de Conservação - SNUC**. Diário Oficial da União de 19.7.2000. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/19985.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19985.htm). Acesso em: out. 2023.

BRITO, Francisco Erivan da Rocha. **Efeito da adubação nitrogenada sobre o desenvolvimento e estabelecimento de mudas de ingá (*Inga laurina* (Sw.) Willd.) e fedegoso (*Senna macranthera* (Collad.)(Irwin et Barn.)) em viveiro**. 2014.

BUTRUILLE, Nicole-Marie Dos Santos. **Influência do método de aplicação e concentrações de Arbolina na produtividade, fisiologia e qualidade de frutos de morangueiro**. 2021.

CARDOSO, Murilo Raphael Dias et al. **Classificação climática de Köppen-Geiger para o estado de Goiás e o Distrito Federal**. 2014.

COELHO, Antônio M. **Nutrição e adubação**. 2007.

CORRÊA, Rodrigo Studart. **Recuperação de áreas degradadas pela mineração no cerrado**. 2009.

COSTA, Cristiano Cunha; ALMEIDA, Luís Eduardo; CASTRO, Vinícius Resende de. Evaluation of the morphological parameters of native species of the Atlantic Forest in biodegradable tubes. **Revista Ambientale**, v. 12, n. 4, p. 44-54, 2020.

COSTA, Lucio. **Brasília revisitada**. Brasília: Diário Oficial do Distrito Federal–Decreto, n. 10.829, 1987.

COSTA, Roberta Maria et al. Inventário da arborização urbana implantada na década de 60 no plano piloto, Brasília, DF. **Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana**, v. 5, n. 4, p. 110-127, 2010.

DIAS, Cremildo Riba Gouveia; EMÍLIO, Mino; SERROTE, Caetano Miguel Lemos. Avaliação do crescimento de mudas de *Azadirachta indica* A. Juss em diferentes substratos. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 21, n. 2, p. 168-175, 2022.

FEDERAL, Distrito. **Decreto nº 10.829, de 14 de outubro de 1987**. Regulamenta o art. 38 da Lei nº 3.751, de 13 de abril de 1960, no que se refere à preservação da concepção urbanística de Brasília, 1987.

FERREIRA, Daniel Furtado. **Sisvar: a computer statistical analysis system**. **Ciência e Agrotecnologia (UFLA)**, v. 35, n.6, p. 1039-1042, 2011.

FONSECA, Ésio de Pádua et al. Padrão de qualidade de mudas de *Trema micrantha* (L.) Blume, produzidas sob diferentes períodos de sombreamento. **Revista árvore**, v. 26, p. 515-523, 2002.

GARCIA, F.C.P.; BONADEU, F. *Inga in Flora e Funga do Brasil*. Jardim Botânico do Rio de Janeiro, 2020. Disponível em: <<https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB23007>>. Acesso em: 07 set. 2023.

GOLLE, Diego Pascoal et al. Melhoramento florestal: ênfase na aplicação da biotecnologia. **Ciência Rural**, v. 39, p. 1607-1614, 2009.

GOMES, J. M.; COUTO, L.; LEITE, H. G.; XAVIER, A.; GARCIA, S. L. R. Crescimento de mudas de *Eucalyptus grandis* em diferentes tamanhos de tubetes e fertilização N-P-K. **Revista Árvore**, v.27, n.2, p. 113-127, 2003

JESUS, Murilo Figueredo Campos de et al de. Crescimento e qualidade de mudas de *Inga laurina* em função do substrato e adubação suplementar. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 36, n. 86, p. 153-159, 2016.

JUCÁ, Jane Monte. **Princípios da Cidade-Parque: categoria urbana concebida no Plano Piloto de Brasília**. Minha Cidade, São Paulo, Vitruvius, ano, v. 10, 2009.

KLINK, Carlos A.; MACHADO, Ricardo B. A conservação do Cerrado brasileiro. **Megadiversidade**, v. 1, n. 1, p. 147-155, 2005.

KOTHENCZ, Gyula et al. Urban green space perception and its contribution to well-being. **International journal of environmental research and public health**, v. 14, n. 7, p. 766, 2017.

LEÃO, João RA et al. Germinação de sementes e crescimento inicial de plântulas de Ingá-mirim-*Inga laurina* (S W.) Willd–utilizada na arborização urbana de Rio Branco, Acre. **Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana**, v. 7, n. 3, p. 11-19, 2012.

LEMOS, Júlio César Lima de Jesus. **Concentrações de arbolina no desenvolvimento de alface (*Lactuca sativa* L.) baby**. 2021.

LIMA, Roberta Maria Costa. **Avaliação da arborização urbana do Plano Piloto**. 2010.

LINDENMAIER, Diogo de Souza; SANTOS, Natália Oliveira dos. **Arborização urbana das praças de cachoeira do sul-rs-brasil: fitogeografia, diversidade e índice de áreas verdes**. São Leopoldo: Instituto Anchieta de Pesquisas, 2008.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras: Manual de Identificação e Cultivo de Plantas Arbóreas Nativas do Brasil**. Vol. 2. Nova Odessa, Ed. Plantarum, 1998.

MARCUZZO, Suzane Bevilacqua; ARAÚJO, Maristela Machado; GASPARIN, Ezequiel. Plantio de espécies nativas para restauração de áreas em unidades de conservação: um estudo de caso no sul do Brasil. **Floresta**, v. 45, n. 1, p. 129-140, 2015.

MATOS, Alan Kardec Veloso. **Revolução verde, biotecnologia e tecnologias alternativas**. Cadernos da FUCAMP, v. 10, n. 12, p. 1-17, 2011.

MORAES, Luiz Fernando Duarte de et al. **Manual técnico para a restauração de áreas degradadas no Estado do Rio de Janeiro**. 2013.

NETO, Michel E. et al. Early development of corn seedlings primed with synthetic tenorite nanofertilizer. **Journal of Seed Science**, v. 42, 2020.

NOGUEIRA, Natiélia et al. Utilização de leguminosas para recuperação de áreas degradadas. **Enciclopédia Biosfera**, v. 8, n. 14, 2012.

PURQUERIO, L. F. V. Evolução histórica das tecnologias e insumos para a sustentabilidade na olericultura. **Horticultura Brasileira, Brasília**, v. 28, n. 2, p. 77-84, 2010.

RIBEIRO, Kainã de Sousa. Incorporação de macrófitas (*Eichhornia crassipes*) no substrato de produção de mudas de *Inga laurina* (Sw.) Willd (Ingá-mirim) em viveiro. 2022.

ROCHA, Mariana Arrabal da. **Superquadras de Brasília: um olhar segundo critérios paisagísticos**. 2012.

ROGERS, Richard; GUMUCHDJIAN, Philip; TICKELL, Crispin. **Cidades para um pequeno planeta**. In: *Cidades para um pequeno planeta*. p. vii, 180-vii, 180. 2001

SANTANA, José Augusto da Silva et al. Seleção de espécies para revegetação de área degradada por exploração de areia. **Biodiversidade**, v. 22, n. 2, 2023.

SCHULZ, Deisnara Giane et al. Maturidade fisiológica e morfometria de sementes de *Inga laurina* (Sw.) Willd. **Floresta e Ambiente**, v. 21, p. 45-51, 2014.

SILVA, Álison Moreira da et al. Controle de qualidade no processo de produção de mudas florestais. **Estudos e Inovações na Engenharia e Agronomia**, p. 80. 2020.

SILVA, Francismeire Bonadeu da. **A Tribo Ingeae bentham (Leguminosae-Mimosoideae) na floresta nacional de Caxiuanã, Pará, Brasil**. 2010. Tese de Doutorado. UFRA/MPEG.

SOUZA, José Augusto Borges et al. **Uso de bioestimulantes e fitorreguladores na cultura do morangueiro**. 2022.

SOUZA, Vinicius Castro; FLORES, Thiago Bevilacqua; LORENZI, Harri. **Introdução à botânica: morfologia**. 2013.

VALE, Ailton Teixeira do; SARMENTO, Thaise Rachel; ALMEIDA, Alexandre Nascimento. Caracterização e uso de madeiras de galhos de árvores provenientes da arborização de Brasília, DF. **Ciência Florestal**, v. 15, p. 411-420, 2005.

WENDLING, Ivar; DUTRA, Leonardo Ferreira; GROSSI, Fernando. **Produção de mudas de espécies lenhosas**. 2006.